

**М.О. РАССОХА, Г.М. ЧЕРКАШИНА**, канд. техн. наук, НТУ “ХП”

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ ВИРОБНИЦТВА ЕПОКСИДНИХ ТА ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГІДНИХ ОЛІГОМЕРІВ МЕТОДОМ ПІНЧ-АНАЛІЗУ**

Одним з методів ефективного дослідження технологічних процесів з метою пошуку можливості вдосконалення споживання енергії є пінч-аналіз, що застосовує елементарні термодинамічні закономірності в поєднанні з евристичними прийомами. В даній роботі наводиться приклад застосування цього методу при аналізі процесу синтезу епоксидного олігомеру марки ЕХД та новолачного фенолоформальдегідного олігомеру.

Pinch design method makes it possible to show optimal ways of recuperation of process heat. In this work pinch design method had apply to periodic process of product epoxy olygomer EChD

Сутність пінч-аналізу в пошуку оптимальних шляхів передачі теплової енергії від потоків речовин, яким за технологічним процесом необхідно охолонути (*гарячі потоки*), до потоків, які необхідно підігріти до певної температури (*холодні потоки*).

Подібна рекуперація теплоти зменшує кількість як холодних утиліт (звичай це вода), що охолоджують гарячі потоки, так і гарячих (пар, топочні гази), що підігрівають холодні. Однак тут ми стикаємося з протиріччям між вартістю енергоносіїв, які можуть бути зекономлені при якнайповнішій інтеграції холодних і гарячих потоків та вартістю встановлення додаткової теплообмінної апаратури.

За допомогою пінч-аналізу можлива оцінка кількості енергоресурсів, що здатні рекуперуватися в середині технологічного процесу, чи, на вищому рівні, між технологічними процесами в межах виробничого комплексу.

В даній роботі наводиться приклад застосування цього методу при аналізі процесу синтезу епоксидного олігомеру марки ЕХД, що є важливим компонентом багатьох епоксидних композицій, та фенолоформальдегідних олігомерів, сфера застосування яких теж досить чимала.

Технологічний процес ділиться на температурно-часові інтервали. Кожному з них відповідає та чи інша кількість теплоти, що її треба підвести (додатне значення) чи відвести (від’ємне значення). Дані заносяться в таблицю (табл. 1) і сумуються як по рядах (в межах одного температурного інтервалу),

так і по стовпчиках (сумарна кількість теплоти за певний часовий проміжок). Підсумовуючи значення теплоти по часових проміжках, ми знайдемо кількість енергії, що необхідно підвести до системи та відвести назовні згідно з технологічним процесом.

Таблиця 1

Температурно-часові інтервали процесу синтезу новолачного фенолоформальдегідного олігомеру

Температура, °C	Час, години						Сумарна теплота в температурному інтервалі
	0,5	1,5	2,5	4	6	7	
Кількість тепла, що треба підвести	0	810353			403053		1213406
95 – 125	0	0	0	0	303053	-177428	125625
85 – 95	0	0	-658226	0	100000	-59143	-617369
75 – 85	0	0	-658226	0	0	-59143	-717369
20 – 75	0	810353	0	0	0	-325284	485069
Кількість тепла, що треба відвести			-1316453			-621008	-1937461

Сума теплоти по рядах (температурних інтервалах) відповідає потребі у підводі (відводі) теплоти в межах цього інтервалу за умови ідеальної рекуперації холодних та гарячих потоків. Більш детально зміст цього розкритий в табл. 2.

Таблиця 2

Тепловий баланс процесу синтезу новолачного фенолоформальдегідного олігомеру за умови ідеальної рекуперації гарячих і холодних потоків

Температура, °C	Тепловий баланс по температурних інтервалах	Тепловий баланс наростаючим підсумком	Остаточний тепловий баланс
Кількість тепла, що треба підвести			125625
95 – 125	125625	125625	0
85 – 95	-617369	-491744	-617369
75 – 85	-717369	-1209113	-1334738
20 – 75	485069	-724044	-849669
Кількість тепла, що треба відвести			-849669

Друга колонка – це тепловий баланс по температурних інтервалах, тобто тотожна останній колонці табл. 1. Починаючи з найгарячішого інтервалу додаємо значення теплоти до більш холодних наростаючим підсумком – таким чином формуємо третю колонку.

Четверта колонка дає нам уявлення про тепловий баланс виробництва за умови ідеальної рекуперації. Необхідною умовою тут є недодатне значення будь якого температурного інтервалу. Це досягається підводом ззовні теплоти в кількості, що дорівнює максимальному додатному значенню досягнутого в одному з температурних інтервалів третьої колонки.

Кількість тепла в найхолоднішому температурному інтервалі є обсягом, що треба відвести від системи холодними утилітами.

Як впливає з табл. 2 зовсім без зовнішньої теплоти в процесі не обійтися, оскільки найгарячіший температурний інтервал 95 – 125 °C є енергодефіцитним, а «підняти» теплоту з менш гарячих інтервалів неможливо фізично. Бачимо, що термодинамічно обґрунтований мінімум зовнішньої теплоти складає не менш як 125625 кДж.

Але при проектуванні інтегрованих процесів необхідно враховувати і технологічну доцільність. Так, значна частка теплоти виділяється при охолодженні і затвердінні кінцевого олігомеру. Навряд доцільно пускати його через теплообмінник без бажання приректи обслуговуючий персонал до постійних збоїв у техпроцесі через забиття того ж таки теплообміннику. Найбільш доцільним з технологічного погляду видається підігрів вихідних компонентів – фенолу і формаліну до температури конденсації за рахунок теплоти конденсації раніше початого процесу.

Це досягається зсувом початку паралельних процесів у двох реакторах на одну годину. Впродовж плину конденсації в першому, тепло, що виділяється, відводиться формаліном, який, потрапляючи у проміжний збірник змішується з фенолом, розтоплюючи його і знову іде до рубашки реактору.

Таким чином, все тепло, необхідне для підігріву суміші є відведеним з паралельного реактора теплотою конденсації.

Очевидно, що при такому чергуванні заощаджується вся енергія на нагрівання суміші до температури конденсації, або  $810353 / (810353 + 403053) = 0,67 = 67\%$  від теплоти, що підводиться за традиційною схемою.

Аналогічним чином розглядаємо процес синтезу епоксидного олігомеру марки ЕХД. З метою економії місця, не наводимо тут повний тепловий баланс, розписаний по температурно-часовим інтервалам. Обмежимося підсум-

ковою таблицею 4.

Таблиця 3

Температурно-часові інтервали процесу синтезу новолачного фенолоформальдегідного олігомеру при паралельній роботі двох реакторів

Темпе- ратура, °С	Час, години						
	0,5	1,5	2,5	4	6	7	8
Кількість тепла, що треба підвести	0	810353			403053	403053	
Перший реактор							
95 – 125	0	0	0	0	303053	-177428	
85 – 95	0	0	-658226	0	100000	-59143	
75 – 85	0	0	-658226	0	0	-59143	
20 – 75	0	810353	0	0	0	-325284	
Другий реактор							
95 – 125			0	0	0	303053	- 177428
85 – 95			0	-658226	0	100000	-59143
75 – 85			0	-658226	0	0	-59143
20 – 75			810353	0	0	0	-325284
Кількість тепла, що треба відвести	0	0	506100	1316453	0	621008	621008

Аналізуючи табличні дані приходимо до висновку, що навіть за ідеальної рекуперації холодних і гарячих потоків на верхніх температурних інтервалах без зовнішньої теплоти не обійтися.

Необхідно підвести 7132734 кДж для всіх інтервалів вище 60 °С. Водночас, починаючи з 60 °С в системі виникає профіцит теплоти, її треба відводити.

Необхідно знайти такий часовий зсув між процесами в паралельних реакторах, згідно з приведеними вище умовами, за яким би рекуперація була максимальна.

Перебравши декілька варіантів, маємо зупинитися на наступному. Зсув у часі між початками процесів повинен становити 14 годин. При цьому теплота конденсації ЕХГ на протязі 5 (часовий проміжок 42 – 47) годин іде на відгін азеотропу в паралельному реакторі (часовий проміжок 28 – 33), повністю за-

безпечуючи цей процес енергією:  $-2533940 + 1962418 = -571522$  кДж, залишається надлишку тепла на такому комбінованому часовому інтервалі

Таблиця 4

Тепловий баланс процесу синтезу новолачного фенолоформальдегідного олігомеру за умови ідеальної рекуперації гарячих і холодних потоків

Температура, °C	Тепловий баланс по температурних інтервалах	Тепловий баланс наростаючим підсумком	Остаточний тепловий баланс
Кількість тепла, що треба підвести	0	0	7132734
95 – 105	2511522	2511522	-4621212
80 - 95	301937	2813459	-4319275
80 – 80	975466	3788925	-3343809
60-80	3343809	7132734	0
60-60	-6209368	923366	-6209368
48-60	203340	1126706	-6006028
45-48	501569	1628275	-5504459
20 – 45	1586366	3214641	-3918093
Кількість тепла, що треба відвести			3918093

Теплоту першої стадії дегідрохлорування можна направити на підігрів вихідних речовин, головне ЕХГ, до температури реакції. Щоправда, як впливає з табличних даних, вихідні речовини ми можемо нагріти лише до 60 °C. Тобто передати 931 591 кДж енергії, за умови подовження стадії підігріву з 0,5 до 2,5  $931591/2023277 = 1,2$  години.

Це може бути досягнуто без зміни тривалості циклу за рахунок інтенсифікації використання часу на підготовку обладнання до нового циклу.

Взагалі, завдяки такій інтеграції ми можемо скоротити використання гарячих утиліт на  $1962418 + 931591 = 2894009$  кДж. На стільки ж скоротиться необхідність у холодних утилітах.

**Висновки:** Завдяки проведеному аналізу ми змогли вказати шляхи зменшення використання гарячих утиліт на  $2894009 \cdot 100\%/14898207 = 19,4\%$ , а холодних на  $2894009 \cdot 100\%/9123066 = 31,7\%$ . Отримані дані можуть використовуватись для вже існуючих виробництв. Аналогічним методом можна знайти оптимальний тепловий баланс для аналогічних виробництв.

**Список літератури:** 1. Смит Р., Клемеш І., Товажнянський Л.Л. и др. Основы интеграции тепловых процессов. – Харків: Видавничий центр НТУ „ХПІ”, 2000. – 457 с. 2. Коршаков В.В. Технология пластических масс. – М.: Химия, 1985. – 287 с.: ил., табл. 3. Александров Н.А. Справочное руководство по эпоксидным смолам: [Уч.-справоч. пос.] / Александров Н.А. – М.: Энергия, 1973. – 415 с. 4. Гурман И.М., Кузнецова И.Б., Акутин М.С. Эпоксидные полимеры. – М.: Химия, 1969. – 489 с. 5. Сорокин М.Ф., Шодэ Л.Г., Кочнова З.А. Химия и технология пленкообразующих веществ. – М.: Химия, 1984 – 358 с.

*Поступила в редколлегию 10.04.08*

УДК 661.56

**А.И. БУКАТЕНКО**, канд. техн. наук,  
**В.И. ТОШИНСКИЙ**, док. техн. наук, **Т.И. ПЕЧЕНКО**, канд. техн. наук,  
**М.О. ФАРИГА**, НТУ «ХПИ»

## **ОСОБЕННОСТИ ОТБЕЛОЧНЫХ КОЛОНН КАК ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛОТЫ НИТРОЗНЫХ ГАЗОВ**

У статті приводяться результати досліджень в діапазоні температур 313 – 333 К імовірні теплові режими процесу відбілювання азотної кислоти від розчинених в ній оксидів азоту нітрозним газом, відбираємим після підігрівача аміачно-повітряної суміші та витратні коефіцієнти теплоносіїв на ці режими.

In article results of researches in the range of temperatures 313 - 333 To possible thermal modes of process of bleaching of nitric acid from dissolved in it oxides nitrogen azotic gases selected after a heater of an ammiachno-air mix, and account factors of heat-carriers on these modes are resulted.

Для выделения оксидов азота из растворов азотной кислоты производят разгонку растворов путем ректификации. Ректификацию осуществляют в отбелочных колоннах. В результате разгонки получается свободная от оксидов азота азотная кислота и газообразный диоксид азота.

Скорость процесса выделения оксидов азота из растворов азотной кислоты очень велика и определяется, в основном, скоростью теплообмена.

**Постановка проблемы.** Эксплуатируемые в настоящее время отбелочные колонны энергоемки и имеют низкую производительность. Совершенст-